Desenvolvimento de um *framework* para uso do Wiimote como dispositivo de interações em ambientes tridimensionais aplicado a um laboratório virtual de Física

Roberto Scalco
Escola de Engenharia Mauá
Instituto Mauá de Tecnologia
São Caetano do Sul, SP - Brasil
Email: roberto.scalco@maua.br

Wu, Shin-Ting
Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação
Universidade Estadual de Campinas
Campinas, SP - Brasil
Email: ting@dca.fee.unicamp.br

***Abstract*—This paper presents the partial development of a low-cost interactive educational environment for performing undergraduate physics laboratory experiments. Once most of students are already fond of the Wii game system, we explore the pointing and motion tracking capabilities of the Nintendo Wii Remote to make learning more playful.**

***Keywords*-Wii Remote; 3D cursor; Physics laboratory.**

***Resumo*—Este artigo apresenta o desenvolvimento parcial de um ambiente interativo educacional de baixo custo para simulações de experimentos em um laboratório de Física para estudantes da graduação. Uma vez que a maioria dos alunos gostam do sistema de jogos Wii, vamos explorar as capacidades de posicionamento e acompanhamento de movimento do Nintendo Wii Remote para tornar o aprendizado mais divertido.**

***Keywords*-Wii Remote; cursor 3D; Laboratório de Física.**

I. Introdução

O projeto descrito neste trabalho consiste no desenvolvimento um aplicativo educacional, com enfoque na simulação de experimentos de um laboratório de Física, que permita ao usuário manipular os elementos da cena utilizando um dispositivo de entrada tridimensional. A interface escolhida foi o controlador Wii Remote, ou Wiimote, do videogame Nintendo Wii. Não é necessário ao usuário possuir o videogame Nintendo Wii, mas apenas o controle de baixo custo [1].

A motivação que levou ao interesse no desenvolvimento do projeto se baseia no fato de que fatores lúdicos podem ser utilizados em aplicativos educacionais para despertar o interesse nos usuários. O perfil desses usuários consiste em alunos na faixa etária entre 17 e 20 anos, matriculados na primeira série de um curso de Engenharia.

Um dos motivos que levaram à escolha de um controle de videogame para ser utilizado como interface com o usuário no aplicativo em desenvolvimento, uma vez que muitos desses alunos têm o hábito de utilizar o videogame exclusivamente para o lazer, foi a pesquisa apresentada por [2] que mostra como o uso de elementos do cotidiano pode ser um elemento motivacional a usuários com perfil semelhante ao delimitado no escopo do projeto.

Além do apelo emotivo ao público alvo, o Wiimote foi escolhido por se tratar de uma interface tridimensional que deixa os movimentos do usuário totalmente livres no espaço, além disso, a comunicação com o computador é feita via comunicação sem fio *Bluetooth*. Embora dispositivos como *SpaceBall*, *SpacePilot* ou *SpaceNavigator* [3] permitam controlar um cursor de maneira tridimensional, não dão ao usuário total liberdade de movimentos, uma vez que devem estar apoiados sobre uma superfície.

O movimento do cursor no ambiente tridimensional deve corresponder ao mesmo do Wiimote que está na mão do usuário para que se justifique o desenvolvimento do projeto. Para isso, tanto a rotação do cursor (obtida pelos ângulos de Euler), quanto a trajetória percorrida (realizando integrações numéricas) são calculadas utilizando recursos integrados ao *hardware* do Wiimote, um acelerômetro e uma câmera. Com a modelagem matemática do cursor 3D desenvolvida e testada, foi criado um ambiente para que os usuários pudessem utilizar o Wiimote para "segurar" um objeto e movimentá-lo para outro local à sua escolha obedecendo as leis físicas.

De maneira geral, deseja-se construir um ambiente que permita ao aluno aprender sobre os conceitos envolvidos no experimento que foi simulado no laboratório virtual, estimulando-o como se estivesse se divertindo em seus momentos de lazer com o videogame. Para tal, alguns objetivos específicos foram estabelecidos: (1) a correspondência entre o movimento da mão do usuário e do cursor no ambiente tridimensional, (2) verificação da aceitação por parte do público do uso desse dispositivo como interface com aplicativos 3D, (3) determinação da curva de aprendizagem dos usuário, a partir de suas características e habilidades, (4) implementação de um ambiente que permita simulações de experimentos relacionados à Mecânica Clássica, (5) testes de validação comparando os resultados experimentais reais com os da simulação e (6) testes de usabilidade com potenciais usuários do produto final.

II. Trabalhos Relacionados

Podem ser relacionados trabalhos de controle de cursor 3D, como as abordagens propostas por Zeleznik et al. [4], que manipulam um cursor no espaço 3D utilizando dois *hardwares* bidimensionais, e por Wu et al. [5], que utilizam o dispositivo *spaceball*. Essas abordagens visam manipular um cursor no espaço, utilizam dispositivos apoiados em uma mesa, o que não acontece com o Wiimote, uma vez que o usuário pode movê-lo livremente pelo espaço. Além disso, o Wiimote proporciona uma interface háptica dando ao usuário a sensação de que o cursor tocou algum objeto.

Tsapanidou [6] propõe o uso do Wiimote para posicionar objetos em uma sala virtual. Alguns fenômenos físicos são calculados pela *engine* física OGRE, como gravidade e colisões entre eles. Futuramente esse projeto implementará uma ambientação didática para o ensino de Física, onde serão criadas situações que representam experimentos da Física clássica que permitam ao usuário manipular elementos de um experimento e simular todo o processo, incluindo as medições com instrumentos virtuais.

Tomarken e outros relataram em [7] o sucesso da aplicação do Wiimote nos experimentos de conservação de momento linear e angular e da verificação da constante de gravitação universal em conjunto com os alunos de Vanderbilt University College of Arts and Science. Os objetivos deste trabalho é bem similar ao nossos que consistem em aplicar o Wiimote no estudo das leis de Newton.

III. Arquitetura

O *framework* deste projeto é apresentado na Figura 1 e seus módulos discriminados a seguir.
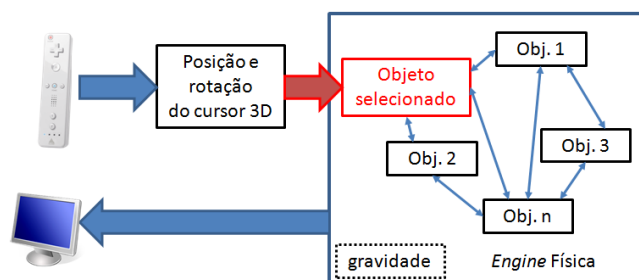
Figura 1. Arquitetura do sistema.

O Wiimote possui os seguintes recursos:

- **Acelerômetro**: medições em três direções na faixa entre -3g e +3g (sendo g o valor da aceleração da gravidade) com resolução de 8 *bits* para cada direção [8];
- **Câmera infravermelha**: monocromática com resolução de 128x96 *pixels* e processamento interno de oito *sub-pixels*;
- **Vibração**: possui um pequeno motor com uma massa que gira fora do seu eixo de rotação. É utilizado para estimular uma reação háptica no usuário.

O principal problema que precisamos solucionar é determinar de forma aceitável, a partir das direções que chegam do acelerômetro e da localização dos LEDs infravermelhos pela câmera IR, a posição espacial do cursor.

É necessário realizar um pré-processamento aos dados que chegam do acelerômetro do Wiimote, pois os valores das acelerações recebidos são relativos ao sistema de coordenadas do controle Wiimote, que inicialmente, coincidem com o sistema de coordenadas do mundo onde os objetos estão representados. Entretanto, o usuário pode movimentar a posição da câmera livremente, usando os botões direcionais do Wiimote. Quando isso ocorre, torna-se necessário aplicar uma mudança de base para os valores recebidos da aceleração. Assim, quando o usuário movimenta o Wiimote para a direita, o cursor 3D também se movimenta para a direta no ambiente virtual, independente do posicionamento da câmera em relação à cena.

A partir dos valores corrigidos da aceleração, é possível calcular a nova posição do cursor, alinhado com o Wiimote na mão do usuário, aplicando técnicas de integração numérica sucessivas vezes. Para o alinhamento, são calculados os ângulos de Euler a partir do vetor aceleração obtido no início de cada movimento que o usuário realiza.

Caso o usuário pressione os botões A e B ao mesmo tempo, nas proximidades de um objeto, é possível movimentá-lo pela cena, seguindo a movimentação da mão do usuário.

As interações entre os objetos que compõem uma cena, e consequentemente um experimento do laboratório de Física, são controladas por uma *engine* que detecta as colisões entre os objetos e aplica as forças que permitirão o movimento desses objetos. Essas forças podem ser oriundas de colisões entre os elementos ou a aceleração da gravidade. Com as novas posições de cada objeto da cena calculadas pela *engine* física o *frame* é finalizado e exibido ao usuário no monitor.

IV. Resultados parciais

Até o presente estágio do desenvolvimento do projeto foram concluídos os seguintes estágios do *framework*: (a) recepção dos dados do acelerômetro e câmera do Wiimote, (b) rotação e movimentação do cursor 3D em função da movimentação da mão do usuário, (c) seleção e movimentação de objetos, finalizando o objetivo (1) apresentado na introdução deste trabalho. Além disso, foi desenvolvido um ambiente para treinamento dos usuários, que permitirá coletar informações a partir de alguns testes de movimentação de objetos para verificar o objetivo (2), além das características do perfil do usuário, relacionado ao objetivo (3).

Os estágios (a) e (b) foram apresentados em [9]. Neste artigo apresentamos os principais resultados obtidos no último ano.

A. Movimentos e interações do usuário

A partir das cinco operações básicas previstas no manual do Nintendo Wii [10], foram definidas as interações que seriam implementadas no projeto. A operação **acenar** não foi implementada no projeto. No videogame, apontar serve como base para as operações **segurar**, **empurrar/puxar** e **torcer**, definindo a situação inicial do Wiimote. Neste projeto, a situação inicial é definida quando o usuário pressiona o botão **A** do Wiimote. A operação **torcer** não foi implementada para

manipular os objetos, mas para rotacionar o cursor 3D no espaço.

Mostramos em [9] que isso pode ser realizado com uso da câmera IR. As operações **segurar** e **empurrar/puxar** foram unificadas no projeto e permitem mover os objetos em três direções, diferente do implementando no Nintendo Wii, onde os movimentos são uni ou bidimensionais.

B. Ângulos de rotação do Wiimote

Os ângulos de rotação α, β e γ (torção) são os ângulos de Euler do vetor aceleração $\vec{a}$ sobre os eixos x, y e z do acelerômetro do Wiimote e são obtidos a partir das informações da câmera e do acelerômetro. Esses ângulos são calculados a partir de uma base B fixa e do vetor aceleração $\vec{a}$ obtido quando o botão **A** é pressionado.
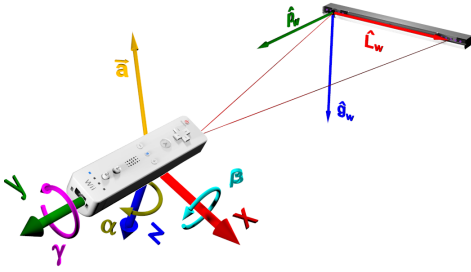
Figura 2. Vetores da base B e ângulos de Euler do vetor aceleração.

Sem perda de generalidade, consideramos que a WiiBar esteja posicionada sobre uma televisão, na horizontal. O versor $\hat{L}_w$ contido no plano da TV pode ser calculado utilizando as coordenadas dos LEDs da WiiBar. O versor $\hat{g}_w$ está relacionado com a aceleração da gravidade. O terceiro versor é obtido por $\hat{p}_w = \hat{g}_w \times \hat{L}_w$. A cada *frame*, o vetor $\vec{a}$ é utilizado para atualizar os ângulos α, β e γ utilizando as equações 1, 2 e 3.

$$\alpha = arccos\left(\frac{\vec{L}_w \cdot \vec{a}_{proj_{L_w,p_w}}}{\left\|\vec{L}_w\right\| \cdot \left\|\vec{a}_{proj_{L_w,p_w}}\right\|}\right) \quad (1)$$

$$\beta = arccos\left(\frac{\vec{p}_w \cdot \vec{a}_{proj_{p_w,g_w}}}{\left\|\vec{p}_w\right\| \cdot \left\|\vec{a}_{proj_{p_w,g_w}}\right\|}\right) \quad (2)$$

$$\gamma = arccos\left(\frac{\vec{g}_w \cdot \vec{a}_{proj_{g_w,L_w}}}{\left\|\vec{g}_w\right\| \cdot \left\|\vec{a}_{proj_{g_w,L_w}}\right\|}\right) \quad (3)$$

C. Cálculo da trajetória do cursor

O cálculo da posição do cursor 3D é realizado enquanto o botão **A** estiver pressionado, a partir do incremento da aceleração da entre os *frames* i e $i-1$, aplicado paralelamente às direções da câmera, e do intervalo dt entre esses *frames*. Técnicas de integração numérica foram utilizadas para obter primeiro a velocidade v_i e depois a posição P_i:

$$v_i = v_{i-1} + fator \cdot da \cdot dt \quad (4)$$

$$P_i = P_{i-1} + v_i \cdot dt + fator \cdot da \cdot \frac{dt^2}{2} \quad (5)$$

O parâmetro $fator$ aplicado permite ao usuário ajustar a velocidade do cursor utilizando os botões $+$ ou $-$ do Wiimote. Além disso, para evitar que o cursor se mova por causa de pequenas variações involuntárias da mão do usuário, somente são considerados os valores de da cujo valor absoluto seja superior a 3, aproximadamente, um décimo de g.

D. Movimentação de objetos na cena

A interação do cursor com os objetos da cena para que o usuário possa selecioná-los e movimentá-los se dá ao pressionar os botões A e B do Wiimote, semelhante ao movimento de uma pinça com os dedos polegar e indicador, como se estivesse segurando um objeto. Quando isso ocorre, o Wiimote gera uma vibração para que o usuário tenha uma percepção háptica indicando que o objeto selecionado está se movendo.

É considerado que um objeto está nas proximidades do cursor se a distância entre o cursor 3D e o centro do objeto for de até 1,5 vezes o tamanho do objeto. Apenas um objeto pode ser selecionado por vez.

E. Testes de seleção e movimentação

Antes de iniciar os testes é dado ao usuário um período de familiarização com o dispositivo, podendo mover o cursor livremente pela cena, além de poder mover um cubo. Assim que o usuário se declarar apto, são iniciados os testes. Os testes consistem na movimentação de cubos espalhados pela cena até alvos indicados por um cubo da mesma cor, em *wireframe*.

Os elementos possuem uma linha vertical até o plano $z = 0$, indicado em verde na Figura 3. Essa linha auxilia o usuário na identificação do posicionamento dos objetos e alvos.
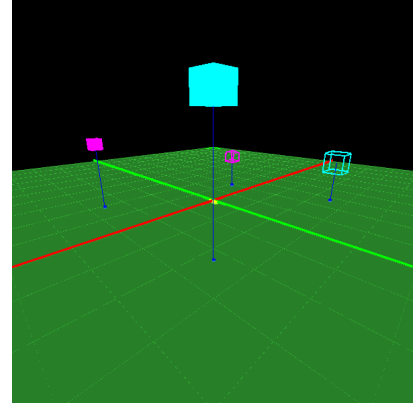
Figura 3. Ambiente de teste de movimentação de objetos.

Em alguns testes o usuário deve fazer o movimento de um objeto sobre uma linha de referência. O usuário pode indicar se é destro ou canhoto, alterando a linha de referência para que o usuário possa usar o braço semelhante a um compasso.

Teste 1: mover um objeto até o alvo. Objeto e alvo sobre a linha de referência.

Teste 2: mover dois objetos, de cores e tamanhos diferentes, até os respectivos alvos. Todos os elementos estão sobre a linha de referência.

Teste 3: mover um objeto até o alvo. Os dois elementos estão dispostos aleatoriamente na cena.

Teste 4: mover dois objetos até os respectivos alvos. Todos os elementos estão dispostos aleatoriamente na cena.

Teste 5: semelhante ao Teste 1, sem a linha vertical.

Teste 6: semelhante ao Teste 4, sem a linha vertical.

Para cada um dos testes são armazenados: a duração, o tamanho dos objetos e as distâncias entre seus centros e os centros dos respectivos alvos. Após a conclusão dos testes, o aplicativo abre um formulário de pesquisa para que o usuário preencha questões tanto de caráter demográfico, quanto sua experiência com aplicativos e dispositivos de entrada de informação tridimensionais.

V. Considerações Finais

Até a presente fase do desenvolvimento do projeto, foi verificado que é possível utilizar o Wiimote como interface para manipulação de elementos em um ambiente tridimensional, uma vez que a movimentação do cursor 3D acompanha a trajetória da mão do usuário.

O passo seguinte consiste em verificar a aceitação do público ao fato de utilizar o controle Wiimote como interface com aplicativos 3D. Para tal, os usuários que realizarem os testes serão convidados a responder a um questionário que, além de expressarem suas opiniões, será possível verificar o perfil (sexo, idade, atuação profissional) para que seja relacionar as respostas agrupadas com base na semelhança das característica do usuário.

Esse agrupamento de indivíduos pelas semelhanças permitirá verificar o quanto as habilidades naturais e as situações do cotidiano dos usuários podem influenciar na aceitação do uso do controle como interface com aplicativos 3D. Foram consideradas as seguintes hipóteses que podem influenciar nos resultados dos testes: (H1) habilidade de visualização espacial, (H2) habilidade de coordenação motora, (H3) familiaridade com uso de videogames com interação gestual e (H4) familiaridade com uso aplicativos gráficos 3D. As hipóteses (H1) e (H2) são habilidades que todas as pessoas possuem em grau mais ou menos desenvolvido. As hipóteses (H3) e (H4) envolvem uma combinação das habilidades (H1) e (H2) que foram desenvolvidas em um ambiente (*software* e *hardware*) semelhante ao dos testes.

Com relação aos resultados dos seis testes de movimentação dos objetos pretende-se determinar a curva de aprendizado do uso desse dispositivo em função das características do perfil dos usuário, considerando principalmente os fatores referentes às hipóteses (H3) e (H4) que correspondem a familiaridade do usuário com o uso de ferramentas ou aplicativos semelhantes. Desta maneira, pretende-se obter o modelo da curva de aprendizagem de Stanford-B, que considera a experiência anterior quando o usuário está aprendendo uma nova tarefa.

Após a fase de verificação da aceitação da interface e determinação da curva de aprendizagem, pretendemos ainda desenvolver um ambiente integrado a uma *engine* que permita dispor objetos sujeitos às leis da Física e instrumentos de medição, objetivando a simular diversos experimentos de laboratório. Para tal, a *engine* física ODE (*Open Dynamics Engine*) será utilizada para aplicar as forças intrínsecas ao ambiente (aceleração da gravidade, atrito, resistência do fluido em que o elemento está imerso etc), além de obter o resultado das colisões entre os objetos.

Além da modelagem de objetos que compõem experimentos em um laboratório de Mecânica Clássica, serão disponibilizados instrumentos para que o usuário possa realizar medições de maneira análoga ao uso dos objetos reais, pertencentes ao laboratório onde as aulas são realizadas.

Por fim, deseja-se fazer um estudo da usabilidade do projeto como um todo, ou seja, o uso do Wiimote como elemento para manipular os objetos e instrumentos no laboratório virtual. Desta maneira, deseja-se verificar com o uso do aplicativo e posterior questionário a facilidade de aprendizado e de memorização das operações, além de verificar se a taxa de erros que o usuário obtém ao manusear os elementos da cena é relativamente baixa.

Com o sistema concluído será possível utilizá-lo como uma ferramenta educacional complementar ao laboratório de Física, permitindo com que os alunos possam, por exemplo, repetir os experimentos realizados durante as aulas em casa, manuseando os objetos com o Wiimote, mas com variações dos parâmetros como massa dos corpos ou comprimento do fio, e compararem com os resultados obtidos e esperados.

Referências

[1] M. Vannoni and S. Straulino, "Low-cost accelerometers for physics experiments," *European Journal of Physics*, vol. 28, no. 5, pp. 781–787, set. 2007. [Online]. Available: http://goo.gl/UYuv5

[2] R. Scalco and F. Appolinário, "Uso de recursos de smartphones como elemento de motivação nas aulas de laboratório de física," in *XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia - COBENGE 2011*, Odorizzi, Ed., Blumenau, SC, Brazil, oct. 2011. [Online]. Available: http://goo.gl/lmrjz

[3] 3D CONNEXION, "What is a mouse 3d?" 2013. [Online]. Available: http://goo.gl/qyfY9

[4] R. C. Zeleznik, A. S. Forsberg, and P. S. Strauss, "Two pointer input for 3d interaction," in *Proceedings of the 1997 symposium on Interactive 3D graphics*, ser. I3D '97. New York, NY, USA: ACM, 1997, pp. 115–120. [Online]. Available: http://goo.gl/6SLCk

[5] S.-T. Wu, M. Abrantes, D. Tost, Harlen, and C. Batagelo, "Picking and snapping for 3d input devices," in *Proc. of the XVI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*, 2003, pp. 140–147.

[6] A. A. Tsapanidou, "Virtual room scene with the wii remote/motion plus," Master's thesis, School of Science and Technology, The Nottingham Trent University. Nottingham, 2009. [Online]. Available: http://goo.gl/VEVzi

[7] S. L. Tomarken, D. R. Simons, R. W. Helms, W. E. Johns, K. E. Schriver, and M. S. Webster, "Motion tracking in undergraduate physics laboratories with the wii remote," 2011. [Online]. Available: http://goo.gl/4byxB

[8] ANALOG DEVICES, *ADXL330*, Norwood, 2007. [Online]. Available: http://goo.gl/Gxdz0

[9] R. Scalco and S.-T. Wu, "Elementos de um laboratório virtual de física controlados por wiimote," in *Workshop of Works in Progress (WIP) in SIBGRAPI 2012 (XXV Conference on Graphics, Patterns and Images)*, T. V. D. Guliato, Ed., Ouro Preto, MG, Brazil, august 2012. [Online]. Available: http://goo.gl/o2N8R

[10] Nintendo, *Manual de Instruções do Wii - Configurações do Console*, 2011. [Online]. Available: http://goo.gl/rHhYm